第37卷 第6期
2020年11月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 37 No. 6
Nov. 2020

短命植物尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌植株种子生物学特性研究

李得新[1,2]， 张道远[1,2,3]， 张刘伟[4]， 张巧关[1,2]， 刘会良[1,2,3,5]

（1. 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830011；2. 中国科学院大学，北京 100049；3. 中国科学院吐鲁番沙漠植物园，新疆 吐鲁番 838008；4. 西北农林科技大学，陕西 杨陵 712100；5. 新疆生态与地理研究所伊犁植物园，新疆 新源 835800）

摘 要：尖喙牻牛儿苗种子生物学特性对于其在极端环境的生存和繁衍具有重要意义。分别采集尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌植株的种子为实验材料，通过室内模拟与野外实验相结合，探讨尖喙牻牛儿苗种子百粒重、吸水率和种子萌发等生物特征方面的差异性。结果表明：(1) 秋萌植株种子成熟时间比春萌植物早一周左右，两者在不同成熟散布时间下的种子百粒重有显著性差异。(2) 未划破种皮下，春萌和秋萌的尖喙牻牛儿苗植株种子在25 ℃/10 ℃具有最高的萌发率，划破种皮后，15 ℃/5 ℃，20 ℃/5 ℃，25 ℃/10 ℃温度下萌发率均达到80%以上且与其他温度条件具有显著的差异。(3) 春萌植株种子的吸水率和自然萌发率均显著高于秋萌植株且光照对于春萌和秋萌植株种子萌发影响不显著。(4) 尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌种子休眠类型为物理休眠，未划破种皮前，种子的萌发率均小于20%，而划破种皮后，萌发率均超过90%。

关键词：尖喙牻牛儿苗；春萌；秋萌；种子萌发

短命植物是温带荒漠区域中一类特殊的植物类群，能够利用冬季积雪融水和早春降水快速萌发，在夏季来临之前完成生活史[1]，其中，大部分短命植物具有春/秋萌现象。对于恶劣的荒漠生态环境而言，这种独特的生存和更新策略，是其确保种群在特定的环境中持续生存和繁衍的基础[2-3]。短命植物不仅具有生长发育快，高光效，繁殖力强，结实率高的特殊生理功能，还是春季沙漠稳定沙面的主要贡献者和优良的牧草[2]。在全球气候变化背景下，准噶尔荒漠的气候变化趋势正在由暖干向暖湿转变，降水逐年递增[4-6]。所以，深入研究短命植物的春萌和秋萌植株种子的生物学特性对于预测未来该种群发展趋势具有重要意义。尖喙牻牛儿苗(*Erodium oxyrrhynchum*)是古尔班通古特沙漠短命植物层片中的优势物种[7]，具有在春/秋季萌发的现象。野外观察发现，尖喙牻牛儿苗春萌植株出现在每年的3—4月，生长周期约60 d左右，避开了干旱区的夏季高温与冬季寒冻时期，而秋萌植株在9—10月出土，种子成熟期比春萌植株早一周左右，但秋萌植株在当年不能完成生活史，越冬后到第二年3月返青继续生长。

目前，国内外学者对尖喙牻牛儿苗的生态生物学特性[8]、种子外部形态特征[9]、根部与丛枝菌根真菌的依赖性关系[7]、以及增水增氮对其生活史的影响等内容[2,10-11]已有研究，但对春季和秋季萌发的尖喙牻牛儿苗种子生物学特性结合起来的研究还比较缺乏。张涛等[8]对尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌的冠幅、生物量、物候期、菌根侵染率等生态生物学特征方面做了比较。曾晓玲[12]对尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌幼苗期的生物量、幼苗期的根长、苗木死亡率、单株种子产量，以及尖喙牻牛儿苗种子秋萌特征与进化趋势的模型分析、秋萌植株对种群的贡献等方面都进行了研究。田娇娇[13]对尖喙牻牛儿苗种子的百粒重、萌发类型、吸水率，和休眠类型做了相关研究。陈志超等[14]研究了尖喙牻牛儿苗、囊果苔草等秋萌短命植物生长发育特征和空间分布特征；张

收稿日期：2019-11-28； **修订日期**：2020-08-13
基金项目：新疆科技厅天山雪松计划（2018XS27）
作者简介：李得新（1993-），男，硕士研究生，研究方向为种子的休眠调控机制研究. E-mail: lidexin17@mails.ucas.ac.cn
通讯作者：刘会良. E-mail: lhl2033904@163.com

盈等[15]研究了包括尖喙牻牛儿苗在内的古尔班通古特沙漠土壤种子库和幼苗的空间格局。

本文以研究尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌植株种子生物学特性为目的，野外采集尖喙牻牛儿苗春/秋萌种子，通过室内模拟与野外试验相结合，对比其百粒重、吸水性、不同温度、黑暗和划破种皮处理下的萌发率差异，探讨尖喙牻牛儿苗存在春秋萌现象的生态适应机制和丰富干旱区植物对极端环境的适应对策理论。

1　实验材料

为了准确和方便采摘春萌和秋萌植株种子，2018年10月在研究区内选择2块样地，并在2019年3月中旬，在第1块样地中使用圆扎丝（规格为0.7 mm × 1500 mm）分别区分标记出分布均匀、长势良好、生长情况大体一致的春萌尖喙牻牛儿苗植株若干，以满足实验所需，剔除样地中秋萌植株。在第2块样地同样用上述方法标记秋萌植株，剔除样地中春萌植株。为了保证整个生长周期无人为干涉，在种子成熟前期，再用透光、通风良好的纱网分别围住春萌以及秋萌样地，防止种子落地被大风吹走以及其他散落种子随风飘入样地，对本样地内种子造成干扰。种子成熟后，每天按时收集当天成熟，籽粒饱满的尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌种子。此外，尖喙牻牛儿苗的开花是连续性开花模式，而不是集中性开花，并且秋萌种子成熟期比春萌种子早一周左右，为了获得有一致性和代表性的种子，在5月中下旬，当春萌植株和秋萌均为种子成熟散布高峰期时，集中1~2 d时间，野外采集大量种子作为后续实验的研究材料。

2　研究区概况及研究方法

2.1　研究区概况

样地设置在北沙窝试验区，位于准噶尔盆地的我国第二大沙漠—古尔班通古特沙漠的南缘，属于典型的温带大陆性气候，其年积温达3000～3500 ℃，年降水量70～150 mm，年潜在蒸发量2000 mm以上[16]。该区域的小半乔木群落的原生植被以梭梭（*Haloxylon ammodendron*）为主，草本层片主要由短命、类短命植物组成，其中短命植物和一年生的草本植物构成了该区域主要的植物群落，占群落总盖度的80 %以上[17-18]。

2.2　种子的百粒重测定

为了解尖喙牻牛儿苗春萌植株和秋萌植株在不同成熟散布时间内种子的百粒重动态变化，在5月中旬，尖喙牻牛儿苗种子成熟后，每天分别在春萌植株样地和秋萌植株样地按时采集成熟种子，然后去除多余的杂质，使用Sartorius BS124S型（0.0001 g）电子天平进行称量。设置4个重复，每个重复100粒种子。

2.3　种子的吸水速率测定

在室温环境（气温20~25 ℃，相对湿度30%~35%）中进行种子吸水试验。选择尖喙牻牛儿苗春萌/秋萌植株的种子，分为2组进行吸涨实验，每组100粒种子。第1组用手术刀片对尖喙牻牛儿苗种子进行划破处理，在每个种子的种皮上小心划出伤口1～2道。第2组种子不做任何处理。每组100粒种子，每个处理设置3个重复。然后将种子完全浸泡在盛有100 mL蒸馏水的培养皿中。按照设置的时间（0、0.25、0.5、3、6、24 h）取出种子，用吸水纸吸干种子表面的水分，使用Sartorius BS124S型（0.0001 g）电子天平进行称量，计算不同时间段种子的吸水量。为了测定种子的吸水曲线，设W_f是一定时间吸水后的重量，W_i是最初种子重量，则种子的吸水重量的增加率W_r为：$W_r=(W_f-W_i)/W_i\times100\%$。

2.4　温度对于种子萌发的影响

根据古尔班通古特沙漠不同月份的平均最高和最低温度，在室内培养箱（型号：GXZ-288B，光照度：4000 Lux，湿度：50%）根据研究区的温度特点，设置6个变温处理，即5 ℃/1 ℃、15 ℃/5 ℃、20 ℃/5 ℃、25 ℃/10 ℃、30 ℃/15 ℃、35 ℃/20 ℃。依次用小写英文字母（a,b,c,d,e,f）标注。实验材料均为当年采集的新鲜成熟的尖喙牻牛儿苗种子，放置于直径为9 cm的铺有滤纸的带盖培养皿中，每个温度下设置4个重复，进行种子萌发实验。

2.5　黑暗和划破种皮萌发实验

实验材料为尖喙牻牛儿苗春萌/秋萌植株的种子，设置2种处理方式（未划破处理和划破处理，分别用A和B表示）并设置相应对照组，放置于直径为9 cm的培养皿中，培养皿垫有2层滤纸确保种子萌发所需要的水分条件。每个处理下设置4个重复，每个培养皿中为25粒种子，本次实验把种子放置于25 ℃/10 ℃的培养箱内，并设置12 h光照和12 h黑

暗,代表生境中白天与黑夜交替现象。在种子萌发过程中,每天加入适量的蒸馏水以保证滤纸的湿润。每天统计种子萌发数,以胚根伸出种皮2 mm为种子萌发的标志,并移除,持续21 d。

种子的萌发率=萌发的个数/种子总数×100%。

2.6 数据分析

数据统计分析使用SPSS 19.0软件,利用单因素方差分析(One-Way ANOVA)对尖喙牻牛儿苗春/秋萌种子百粒重、吸水率和萌发数据进行分析。用LSD(least significant difference)法进行不同处理之间萌发率的多重比(*a*=0.05),用 Graphpad Prism 8软件作图,尖喙牻牛儿苗萌发率以百分比±标准误(%±SE)表示。

3 结果与分析

3.1 百粒重

在尖喙牻牛儿苗5月中旬至6月中旬种子成熟期间,整个研究区内最高温度以及最低温度均在逐渐上升。在种子成熟期间,尖喙牻牛儿苗春/秋萌种子的百粒重变化范围分别是为0.3651~0.4395 g和0.3499~0.4814 g(图1)。秋萌种子成熟时间比春萌种子一周左右,随着时间推移,两者的种子百粒重均随着环境气温升高而逐渐下降;春萌种子百粒重的下降趋势基本和秋萌种子保持一致。在成熟散布期内,春萌和秋萌植株种子百粒重存在显著差异(图1)。

3.2 种子的吸水率

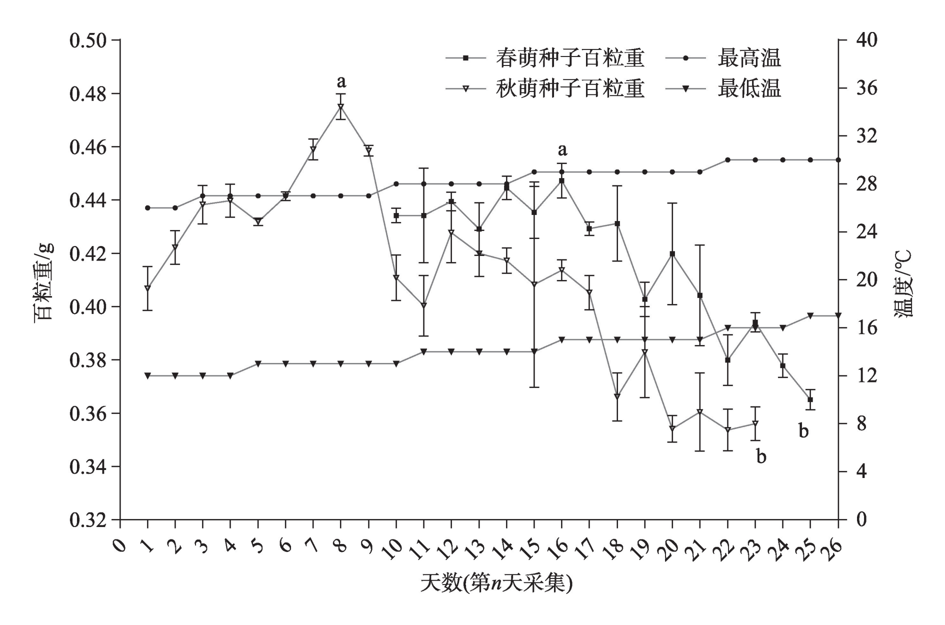
由图2可知,划破种皮后,尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌植株种子吸水速率相对于对照组存在极显著差异,未划破种皮的条件下,尖喙牻牛儿苗春萌种子吸水率显著高于秋萌种子,而当划破种皮后,两者的吸水率无显著差异。在吸水时间方面,种子在3 h后种子吸胀缓慢,而在6 h后吸水近乎停滞。

3.3 温度对种子萌发的影响

由图3可知,未划破种皮条件下,尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌植株的种子在25 ℃/10 ℃温度处理下萌发率最高,并且与其他温度条件相比具有显著差异性。图4显示,划破种皮后,春萌和秋萌的尖喙牻牛儿苗植株种子在15 ℃/5 ℃,20 ℃/5 ℃,25 ℃/10 ℃温度下萌发率均达到80%以上且与其他温度条件具有显著的差异性,说明低温和高温均不利于其发芽。

3.4 黑暗和划破种皮期发实验

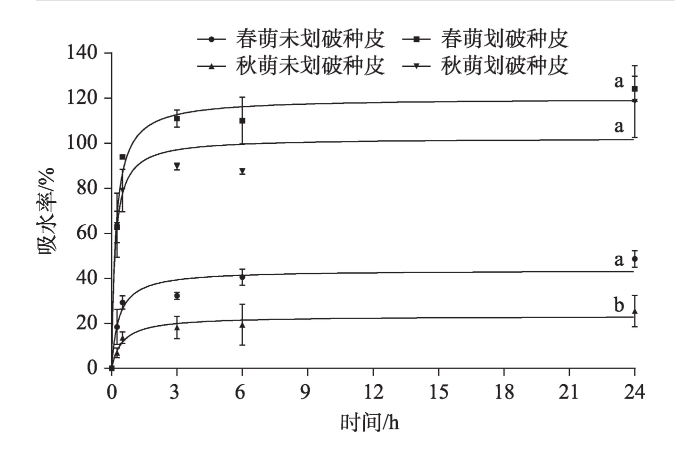
由图5可知,在划破种皮后,尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌植株种子萌发率与对照组相比具有显著的差异性。未划破种皮条件下,春萌植株种子的萌发率显著高于秋萌植株种子,而划破种皮后,两者之



注:不同小写字母分别表示不同成熟散布时间下百粒重差异显著(P< 0.05)。

图1 尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌植株成熟种子的百粒重动态变化与研究区温度变化趋势

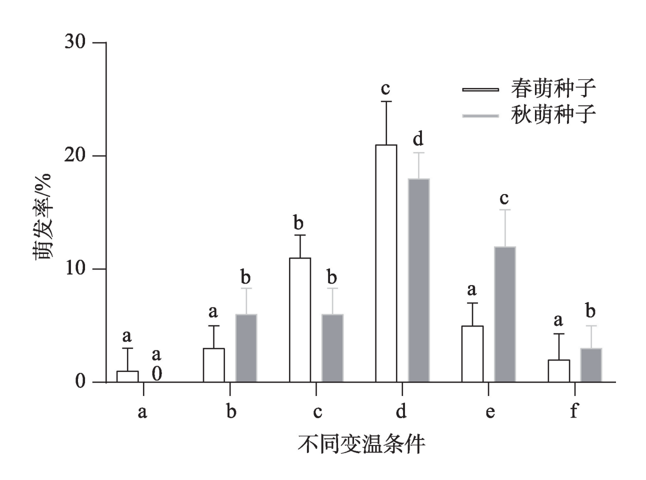
Fig. 1 Dynamic change of hundred seeds weight of the mature seeds of *Erodium oxyrrhynchum* spring and autumn-germinated plants and the temperature trend of the research area



注:不同小写字母分别表示同一处理下种子吸水率差异显著($P<0.05$)。

图2 尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌植株种子吸水曲线

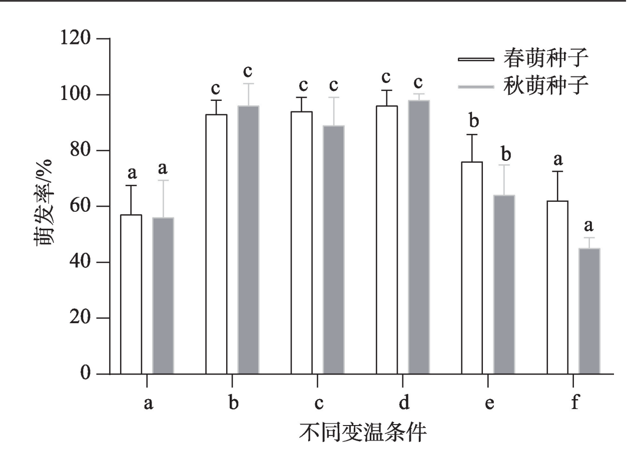
Fig. 2 Imbibition curves of *Erodium oxyrrhynchum* spring and-autumn-germinated plants seeds



注:不同小写字母分别表示春萌或秋萌在不同变温条件下种子萌发率差异显著($P<0.05$)。

图3 不同温度下尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌植株种子萌发率

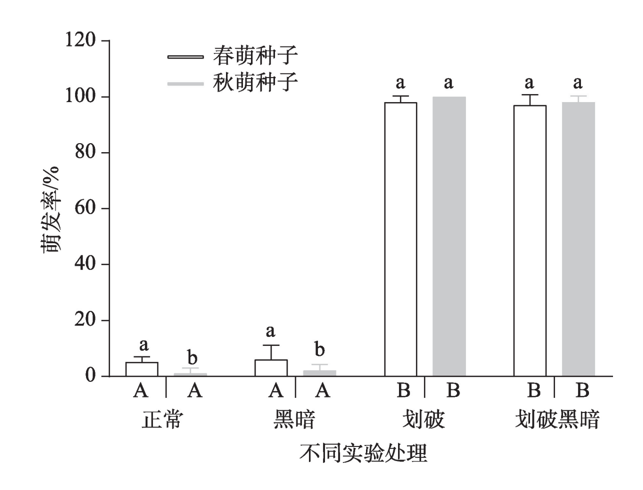
Fig. 3 Germination rate of *Erodium oxyrrhynchum* spring and autumn germinated plants seeds under different temperatures treatments



注:不同小写字母分别表示春萌或秋萌在不同变温条件下种子萌发率差异显著($P<0.05$)。

图4 划破种皮后,不同温度下尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌植株种子萌发率

Fig. 4 Germination rate of *Erodium oxyrrhynchum* spring and autumn-germinated plants seeds under different temperatures treatments, after scratching the seed coat



注:不同小写字母和大写字母分别表示组内和组间萌发率差异显著($P<0.05$)。

图5 不同处理条件下尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌植株种子萌发率

Fig. 5 Germination rate of *Erodium oxyrrhynchum* spring and-antumn- germinated plant seeds under different treatment conditions

间的萌发率无差异,其次,在避光条件下,未划破和划破种皮的春萌和秋萌植株的种子萌发率与对照组无显著差异。

4 讨 论

(1) 春萌和秋萌植株种子大小

种子大小是植物生活史中关键且相对稳定的特征,受遗传和环境双重影响,是对所处环境的一种适应,与种子散布、幼苗竞争力、植物寿命以及种子库的持久性等密切相关[19-21]。研究已经表明,同一个物种或者单个植株的种子质量都可以有很大差别[22],而通常这种差别和环境息息相关。通常来说,与相对较小的种子相比,质量上更占优势的种子对资源获取有更强的能力,这是由于大种子内部储存较多养分所决定的[23]。许多研究表明,大种子比小种子具有更快的萌发速率和更高的萌发率,更好的抗逆能力[24]。不同的成熟散布时间下,尖喙牻

牛儿苗春萌和秋萌植株的种子百粒重有显著性差异，推测尖喙牻牛儿苗质量较大的种子萌发形成的秋萌幼苗比小种子更有利，能顺利过冬存活，到来年完成生活史。

（2）种子吸水率与萌发

紧密的种皮或果皮是造成种子物理性休眠的主要原因，硬实性种子的种皮具有栅栏细胞，这种结构的特点是不透水、不透气、并阻止抑制物质逸出和减少光线进入、通过产生机械约束等作用产生休眠[25-28]，这有利于土壤种子库的维持和种群延续[29]。从吸水率和萌发率可以得出，尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌植株种子均存在硬实性的种皮，并且划破种皮后萌发率达到90%以上，说明该植物种子存在物理性休眠。另外，尖喙牻牛儿春萌种子吸水率和自然萌发率均显著高于秋萌植株的种子，对此，我们假设的原因是：因吸涨作用是种子萌发的必要条件，对于存在物理休眠的种子，硬实性的种皮是限制种子顺利萌发的关键因素，故种皮硬实性程度会影响萌发。在本次实验中所用的种子为野外集中时间采集，理论上分别获得了春萌植株和秋萌植株的一致性的种子。但是，由于春萌和秋萌植株本身的物候期不同，秋萌植株在2019年5月13日种子已经开始成熟散布，而春萌种子在2019年5月22日才开始成熟散布。故我们进行实验的种子（采集于5月25日），实际上是秋萌植株成熟散布时间后期和春萌植株成熟散布时间早期的种子。因此我们推测：由于成熟散布时间不同导致种子种皮硬实性程度不同，才有了实验中春萌植株种子的吸水率和自然萌发率都高于秋萌植株种子。

另外，光照是种子萌发的另一主要影响因子。在种子萌发中，光是作为一种刺激信号来解除种子的休眠，从而使种子萌发[30-31]。在避光处理下，划破种皮和未划破处理的尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌植株种子萌发率均无差异。这说明对于成熟后定居于土壤不同深度的尖喙牻牛儿苗种子而言，光照强弱不再是限制萌发的必要条件，这可能是尖喙牻牛儿苗在长期进化中形成的适应环境的策略。

（3）温度是影响种子萌发的重要因素

研究种子的最适萌发温度，对于推测该物种在自然界的最佳萌发时机和后续进行其他种子相关实验具有重要意义[13]。在未划破种皮条件下，虽然，在25 ℃/10 ℃条件下，尖喙牻牛儿苗春萌和秋萌植株的种子萌发率最高，但是种子具有休眠现象，种子萌发率很低，不能准确判断最适合尖喙牻牛儿苗种子萌发的温度。划破种皮后，春萌和秋萌的尖喙牻牛儿苗植株种子萌发率在15 ℃/5 ℃、20 ℃/5 ℃、25 ℃/10 ℃温度下均有较高的萌发率，而5 ℃/1 ℃和35 ℃/20 ℃萌发率较低，表明低温或高温抑制萌发（抑制了萌发相关酶促反应）。此外，尖喙牻牛儿苗种子春萌和秋萌种子在5 ℃/1 ℃和35 ℃/20 ℃温度条件下，种子的萌发率偏低外，其他4个温度处理下的萌发率均较高。这表明该物种的萌发温度范围较为广泛，一定程度上和古尔班通古特沙漠春季和秋季的温度相对应。推测在春季和秋季，在土壤水分合适的情况下（降雨或积雪消融后），打破休眠的种子会大量萌发。

（4）春秋萌现象的原因

尖喙牻牛儿苗春/秋季萌发的现象是众多研究者比较关注的热点。笔者结合本次实验结果分析可能的原因有3个：① 尖喙牻牛儿苗具有圆锥形的种子，种子连接有长芒，在尖喙牻牛儿苗种子成熟后定居的过程中，种子表皮与土壤不断摩擦会对种皮有不同程度的损害作用，种皮的破损程度不同会导致打破休眠时间有差异。② 自然环境中的物理休眠的打破需要经过长时间的温度与湿度等环境因子的综合作用[32-33]。当种子成熟后定居在不同温度和湿度的生境时，由于所处微环境的差异，也会影响打破休眠的时间。③ 尖喙牻牛儿苗种子硬实程度不一致，从而导致打破休眠的时间不同。因此，当种子休眠打破后，加之外界适合的温度和水分条件时，有的种子在早春萌发，有的在秋季萌发，这就形成了尖喙牻牛儿苗种群特殊的春/秋萌现象。

综上所述，尖喙牻牛儿苗春/秋萌植株种子的休眠类型为物理休眠，这有利于该物种在不利的环境条件下保存种子，减小种子因为偶然事件而大量萌发的风险，保证种子在适宜的环境里顺利完成种群的更新和延续[32]。另外，自然条件下其种子物理休眠打破时间存在差异，这可能是导致尖喙牻牛儿苗种群出现春/秋萌现象的原因之一。

参考文献（References）：

[1] 张立运，陈昌笃. 论古尔班通古特沙漠植物多样性的一般特点[J]. 生态学报，2002, 22(11): 1923-1932. [Zhang Liyun, Chen

Changdu. On the general characteristics of plant diversity of Gurbantunggut sandy desert[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(11): 1923–1932.]

[2] 汤灵红. 降水变化对一年生短命植物的萌发可塑性及生活史的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016. [Tang Linghong. Effect of Precipitation Change on Germination Plasticity and Life History of Annual Ephemeral Plants[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2016.]

[3] 王国华, 郭文婷, 缑倩倩. 钠盐胁迫对河西走廊荒漠绿洲过渡带典型一年生草本植物种子萌发的影响[J]. 应用生态学报, 2020, 31(6): 1941–1947. [Wang Guohua, Guo Wenting, Hou Qianqian. Effects of sodium salt on seed germination of typical annual herbaceous plants in a desert-oasis ecotone of Hexi Corridor, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(6): 1941–1947.]

[4] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152–164. [Shi Yafeng, Shen Yongping, Li Dongliang, et al. Discussion on the present climate chance from warm-dry to warm wet in Northwest chaina[J]. Quaternary Sciences, 2003, 23(2): 152–164.]

[5] 李栋梁, 魏丽, 蔡英, 等. 中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 135–142. [Li Dongliang, Wei Li, Cai Ying, et al. The present facts and the future tendency of the climate change in Northwest China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(2): 135–142.]

[6] 黄小燕, 李耀辉, 冯建英, 等. 中国西北地区降水量及极端干旱气候变化特征[J]. 生态学报, 2015, 35(5): 1359–1370. [Huang Xiaoyan, Li Yaohui, Feng Jianying, et al. Climate characteristics of precipitation and extreme drought events in Northwest China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(5): 1359–1370.]

[7] 吴楠, 张静, 王玥, 等. 积雪和丛枝菌根真菌网络对尖喙牻牛儿苗幼苗生长的影响[J]. 干旱区研究, 2018, 35(3): 624–632. [Wu Nan, Zhang Jing, Wang Yue, et al. Effects of snow cover and arbuscular mycorrhizal fungi network on the seedling growth of Erodium oxyrrhynchum[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(3): 624–632.]

[8] 张涛, 孙羽, 田长彦, 等. 两种短命植物春萌秋萌个体生态生物学特征比较[J]. 植物生态学报, 2007, 31(6): 1174–1180. [Zhang Tao, Sun Yu, Tian Changyan, et al. Ecological and biological differences between spring and autumn plants of two desert ephemeral plants[J]. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(6): 1174–1180.]

[9] 王莎莎, 张元明. 尖喙牻牛儿苗繁殖体外部形态特征[J]. 生态学杂志, 2010, 29(5): 855–861. [Wang Shasha, Zhang Yuanming. Morphological characters of *Erodium oxyrrhynchum* diaspore[J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(5): 855–861.]

[10] Chen Y F, Zhang L, Shi X, et al. Life history responses of spring- and autumn-germinated ephemeral plants to increased nitrogen and precipitation in the Gurbantunggut Desert[J]. Science of The Total Environment, 2019, 659: 756–763.

[11] 王永秋. 降水变化对中亚荒漠一年生植物生活史的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016. [Wang Yongqiu. Effect of Precipitation Change on Life History of Annual Plants Distributed Widely in Desert Region of Central Asia[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2016.]

[12] 曾晓玲. 古尔班通古特沙漠种子秋萌特征及萌发趋势的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2011. [Zeng Xiaolin. Characters and Trend of Seeds Germinate in Autumn in Grurbantonggut Desert, China[D]. Shihezi: Shihezi University, 2011.]

[13] 田娇娇. 准噶尔荒漠一年生植物种子秋萌的生物学特性研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2019. [Tian Jiaojiao. Study on Biological Charactersistics of Autumn Sprout of Annual Plant Seeds in Junggar Desert, China[D]. Shihezi: Shihezii University, 2019.]

[14] 陈志超, 石兆勇, 田长彦, 等. 古尔班通古特沙漠南缘荒漠秋萌短命植物多样性及其空间分布特征[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(5): 2016–2018. [Chen Zhichao, Shi Zhaoyong, Tian Changyan, et al. Diversity and spatial distribution characteristics of ephemeral plants germinated in autumn in the southern edge of Durbantunggut desert[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(5): 2016–2018.]

[15] 张盈, 李君. 古尔班通古特沙漠土壤种子库和幼苗的空间格局——灌丛的"保护效应"[J]. 干旱区研究, 2018, 35(5): 1138–1145. [Zhang Yin, Li Jun. Spatial patterns of soil seed bank and seedlings in the Gurbantunggut desert: the nurse effect of shrubberies[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(5): 1138–1145.]

[16] 方小敏, 史正涛, 杨胜利, 等. 天山黄土和古尔班通古特沙漠发育及北疆干旱化[J]. 科学通报, 2002, 47(7): 540–545. [Fang Xiaoming, Shi Zhengtao, Yang Shengli, et al. Development of Tianshan loess and Gurbantunggut desert and aridization in northern Xinjiang[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(7): 540–545.]

[17] 王斌, 黄刚, 马健, 等. 5种荒漠短命植物养分再吸收对水氮添加的响应[J]. 中国沙漠, 2016, 36(2): 415–422. [Wang Bin, Huang Gang, Ma Jian, et al. Responses of nutrients resorption of five desert ephemeral plants to water and nitrogen additions[J]. Journal of Desert Research, 2016, 36(2): 415–422.]

[18] 于丹丹, 唐立松, 李彦, 等. 古尔班通古特沙漠白梭梭群落林下层物种多样性的空间分异[J]. 干旱区研究, 2010, 27(4): 559–566. [Yu Dandan, Tang Lisong, Li Yan, et al. Spatial variation of the diversity characteristics of understory plant species of *Haloxylon persicum* in the Gurbantunggut Desert [J]. Arid Zone Research, 2010, 27(4): 559–566.]

[19] 付锦雪, 张晨星, 王晓霞, 等. 水分胁迫和种子大小对侧柏种子萌发的影响[J]. 种子, 2020, 39(2): 50–57. [Fu Jinxue, Zhang Chenxing, Wang Xiaoxia, et al. Effects of water stress and seed size on seed germination of platycladus orientalis[J]. Seed, 2020, 39(2): 50–57.]

[20] Moles A T, Westoby M. Seed size and plant strategy across the whole life cycle[J]. Oikos, 2006, 113(1): 91–105.

[21] 张世挺, 杜国祯, 陈家宽. 种子大小变异的进化生态学研究现状与展望[J]. 生态学报, 2003, 23(2): 353–364. [Zhang Shiting, Du Guozhen, Cheng Jiakuan. The present situation and prospect of studies on evolutionary ecology of seed size variation[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(2): 353–364.]

[22] Hopper N W, Overholt J R, Martin J R. Effect of cultivar, temperature and seed size on the germination and emergence of soya beans [*Glycine max* (L.) Merr.][J]. Annals of Botany, 1979, 44(3): 301–308.

[23] Fenner M, Thompson K. The Ecology of Seeds[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005: 1–31.

[24] Westoby M, Jurado E, Leishman M. Comparative evolutionary ecology of seed size[J]. Trends in Ecology & Evolution, 1992, 7(11): 368–372.

[25] 鲁强. 三椏苦种子休眠的解除方法和初步机理研究[D]. 广州: 中医药大学, 2019. [Lu Qiang. Study on the Method and Preliminary Mechanism of Dormancy Release of *Melicope pteleifolia* Seeds [J]. Guangzhou: Guangzhou University of Chinese Medicine, 2019.]

[26] 吴海波, 宋博洋, 张烁, 等. 种子休眠与萌发研究中若干问题的探讨[J]. 种子, 2017, 36(1): 76-81. [Wu Haibo, Song Boyang, Zhang Shuo, et al. Discussion on several problems in the research of seed dormancy and germination[J]. Seed, 2017, 36(1): 76-81.]

[27] 颜启传. 种子检验原理和技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2001. [Yan Qichuan. Seed Inspection Principles and Techniques [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2001.]

[28] 张雪晶, 江文波, 庞永珍. 植物种子大小调控机制的研究进展[J]. 植物生理学报, 2016, 52(7): 998-1010. [Zhang Xuejing, Jiang Wenbo, Pang Yongzhen. Advances in research on the mechanism of plant seed size regulation[J]. Plant Physiology Journal, 2016, 52(7): 998-1010.]

[29] 胡小文, 武艳培, 王彦荣. 豆科植物种子物理性休眠解除机制的研究进展[J]. 西北植物学报, 2009, 29(2): 420-427. [Hu Xiaowen, Wu Yanpei, Wang Yanrong. Progress of physical dormancy release of *Fabaceae species*[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2009, 29(2): 420-427.]

[30] 杨金部, 袁桢燕, 苟萍, 等. 火绒草种子萌发特性的研究[J]. 种子, 2020, 39(5): 77-80. [Yang Jinbu, Yuan Zhenyan, Gou Ping, et al. Study on the germination characteristics of *Edelweiss* seeds[J]. Seed, 2020, 39(5): 77-80.]

[31] Fitzpatrick A E, Lincoln C N, van Wilderen L J G W, et al. Pump-dump-probe and pump-repump-probe ultrafast spectroscopy resolves cross section of an early ground state intermediate and stimulated emission in the photoreactions of the ground state of the cyanobacterial phytochrome cph1[J]. The Journal of Physical Chemistry B, 2012, 116(3): 1077-1088.

[32] Walck J L, Hidayati S N, Dixon K W, et al. Climate change and plant regeneration from seed[J]. Global Change Biology, 2011, 17(6): 2145-2161.

[33] 刘会良, 张永宽, 张道远, 等. 不同居群准噶尔无叶豆果实和种子特性及种子萌发差异[J]. 植物生态学报, 2012, 36(8): 802-811. [Liu Huiliang, Zhang Yongkuan, Zhang Daoyuan, et al. Variation in fruit and seed traits and seed germination among different populations of *Eremosparton songoricum*[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(8): 802-811.]

Biological seed characteristics of spring-emergence and autumn-emergence *Erodium oxyrrhynchum*

LI De-xin[1,2], ZHANG Dao-yuan[1,2,3], ZHANG Liu-wei[4], ZHANG Qiao-guan[1,2], LIU Hui-liang[1,2,3,5]

(1. *State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology*, *Xinjiang Institute of Ecology and Geography*, *Chinese Academy of Sciences*, *Urumqi* 830011, *Xinjiang*, *China*; 2. *University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049, *China*; 3. *Turpan Eremophytes Botanical Garden*, *Chinese Academy of Sciences*, *Turpan* 838008, *Xinjiang*, *China*; 4. *Northwest Agriculture and Forestry University*, *Yangling* 712100, *Shaanxi*, *China*; 5. *Ili Botanical Garden*, *Xinjiang Institute of Ecology and Geography*, *Xinyuan* 835800, *Xinjiang*, *China*)

Abstract: The biological seed characteristics of *Erodium oxyrrhynchum* are of great significance due to their ability to survive and reproduce in extreme environments. We collected the seeds of spring and autumn *E. oxyrrhynchum* sprouts as experimental materials. Laboratory simulations and field experiments were used to explore the differences in biological characteristics such as 100-seed weight, water absorption, and seed germination. The results revealed that the seed maturation time of autumn sprout plants was about one week shorter than that of spring sprout plants. There was also a significant difference in the 100-seed weights between the two. When the seed coat remains intact, the seeds of spring and autumn sprouts have the highest germination rate at 25 °C/10 °C. After scratching the seed coat, the germination rate was >80% at all three temperatures of 15 °C/5 °C, 20 °C/5 °C, 25 °C/10 °C and had significant differences from 5 ℃/1 ℃,30 ℃/15 ℃,35 ℃/20 ℃. The water absorption rate and natural germination rate of spring-sprouted plants were significantly higher than those of autumn-sprouted plants, whereas the light conditions had no significant effect on seed germination. From these results, we can conclude that the spring and autumn seeds of *E. oxyrrhynchum* exhibit physical dormancy. When the seed coat remains intact, the germination rate was less than 20%; the germination rate was more than 90% after scratching the seed coat.

Keywords: autumn-germinated plant; *Erodium oxyrrhynchum*; seed germination; spring-germinated plant